

# Abundanzen benthisch-kalzifizierender Foraminiferen und ausgewählter Diatomeen in verschiedenen Horizonten des Sediments im Eulitoral vor List auf Sylt

Bothe, Adrian; botheadr@student.hu-berlin.de  
Nowatzki, Anja; nowatzki2215@aol.com

## Abstract

Two different groups of unicellular organisms (diatoms, foraminifers) of the marine benthos in the intertidal of Oddewatt, Sylt were studied with respect to variation of their population density and species composition in different layers of the sediment. Two different types of sediment (coarse sand, fine silt) were investigated. Five species of diatoms were shown to decrease in number with sediment depth while species composition remained similar. Silty sediment had slightly denser populations and a higher diversity of diatoms than sandy sediment.

Foraminifera tests are not very abundant in the coarser sediment with densities of about 30 individuals per  $\text{cm}^3$  decreasing with depth. In the finer silt there are almost no tests at the top layer of the benthos, while in 100 mm below the sediment surface we found more than 200 tests per  $\text{cm}^3$ .

## Einleitung

Diatomeen, oder Kieselalgen (Bacillariophyta) spielen als Primärproduzenten eine bedeutende Rolle in planktischen Ökosystemen. Sie kommen sowohl limnisch, als auch marin vor und bilden eine Schale aus Kieselsäure. Sie besitzen keine lokomotorischen Cilien und werden von der Strömung getrieben. Dabei sinken sie oft auch zu Boden, wo sie im Benthos neben der Meiofauna die Nanoflora bilden. Ein Teil der vorliegenden Arbeit widmet sich der Häufigkeit bzw. Dichte verschiedener Sippen in unterschiedlichen Tiefen innerhalb des Sediments. Da das Sediment Licht schluckt, können keine photosynthetischen Prozesse unterhalb einer bestimmten Tiefe stattfinden. Folglich sollte die Abundanz von Diatomeen mit zunehmender Tiefe im Sediment abnehmen. Neben zwei benthischen Arten werden auch drei verbreitete planktonische Arten untersucht, deren Abundanz im Benthos vermutlich geringer ist als die der primär benthischen Arten.

Im Gegensatz zu Diatomeen besiedelt der Großteil der Foraminiferen keine planktonischen Lebensräume, sondern das Benthos. Es handelt sich bei Foraminiferen um einzellige Organismen, die in ihrer lokalen Ausprägung in der südlichen Nordsee poröse gekammerte Gehäuse aus z.B. Calciumcarbo-

nat sezernieren. Lange Pseudopodien dienen zur Lokomotion, Nährstoffresorption sowie Formgebung des Gehäuses. Durch ihren heterotrophen Energiehaushalt sind sie nicht abhängig von Sonneneinstrahlung, vielmehr wäre zu erwarten, dass sie in verschiedenen Tiefen des Sediments etwa gleich häufig vorkommen.

Der vertikale Gradient der Gehäuseanzahl soll untersucht werden, zudem soll die Größenverteilung in unterschiedlichen Tiefen analysiert werden. Untersuchungen zeigen, dass Foraminiferen artspezifisch in verschiedenen Tiefen des Benthos leben (McCorkle et al., 1997), zudem konnte in Laborexperimenten beobachtet werden, dass Foraminiferen Wanderungsbewegungen in Abhängigkeit von der Sauerstoffsättigung des Sediments aufweisen (Alve & Bernhard, 1995). Methodologisch erfolgt im Rahmen dieser Studie jedoch keine Differenzierung zwischen lebenden Individuen und leeren Gehäusen, sodass keine Aussagen über die Zugehörigkeit bestimmter Taxa zur Epifauna oder Infauna gemacht werden können, lediglich die Abhängigkeit von der Sauerstoffsättigung könnte über die Anzahl der gefundenen Gehäuse in Betracht gezogen werden.

Außerdem soll soweit möglich die taxono-

**Tabelle 1:** Übersicht über Bezeichnung und Quelle der entnommenen Sedimentproben für die Untersuchung der gewählten Arten von Kieselalgen und Foraminiferen.

ID	Sedimenttyp	Tiefe	Tiefe des Redoxhorizonts	Koordinaten
A-1	Sandwatt	0 mm	71 mm	55°01'26,26"N 8°26'15,87" E
A-2	Sandwatt	50 mm		
A-3	Sandwatt	100 mm		
B-1	Schlickwatt	0 mm	20 mm	55°01'28,46"N 8°26'14,02 E
B-2	Schlickwatt	50 mm		
B-3	Schlickwatt	100 mm		

mische Zusammensetzung der Gehäusefunde bestimmt werden. Gabel (1971) nennt für die Region des Nationalparks Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer *Cribronionion incertum* (akzeptiert als *Criboelphidium incertum* Williamson, Elphidiidae) sowie *Nonion depressulum* (akzeptiert als *Haynesina depressula* Walker & Jacob, Haynesinidae) als dominante Arten mit über 50 % Anteil an der Vergesellschaftung, somit wären viele Gehäuse dieser Taxa zu erwarten.

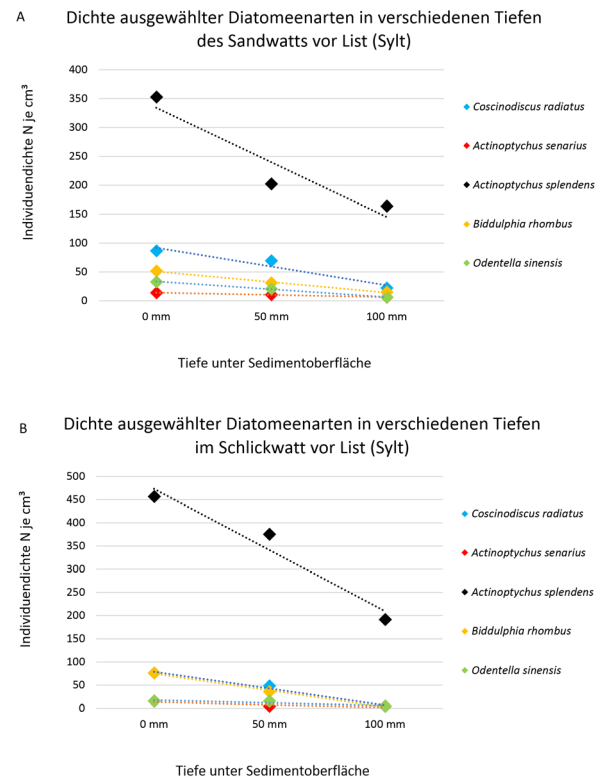


Abb.1. Relative Dichten der fünf verschiedenen Diatomeenarten bezogen auf 1 cm³ Sedimentvolumen der Sieb-Fraktion von 50 µm bis 500 µm für (A) Sand- und (B) Schlickwatt im Vergleich.

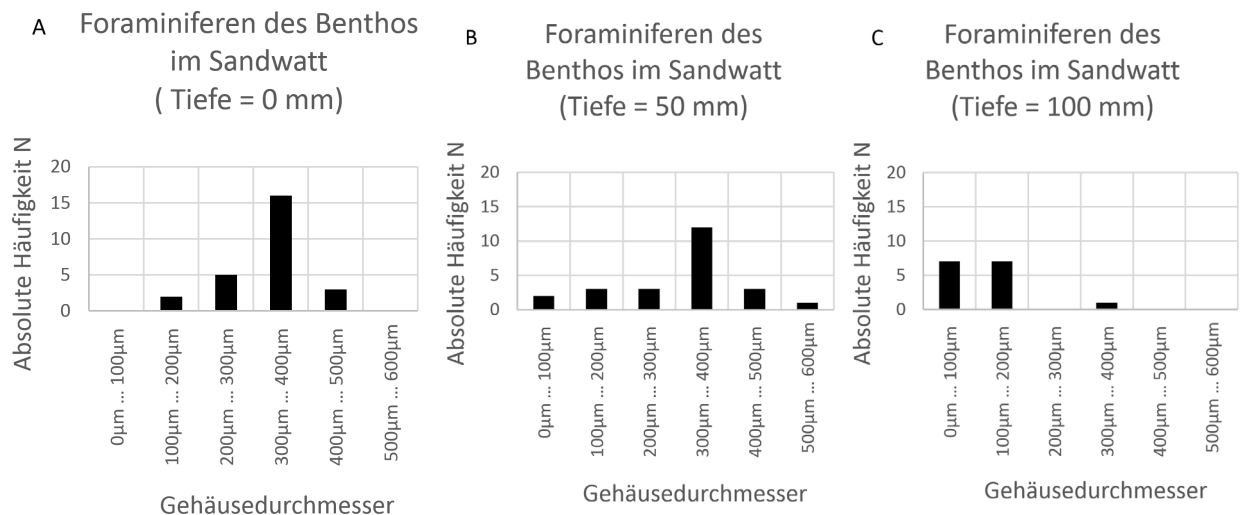


Abb.2. A – C Häufigkeit verschiedener Größenklassen von Foraminiferen-Gehäusen in den verschiedenen Tiefen im Sandwatt: (A) Oberfläche, 0 mm. (B) 50 mm unter der Oberfläche. (C) 100 mm unter der Oberfläche.

### Material & Methoden

Proben wurden bei Niedrigwasser im mittleren Eulitoral des Oddewatt bei List auf Sylt gesammelt. Der Untergrund wurde mit einem Spaten geöffnet, anschließend wurden mithilfe eines waagrecht in das Profil eingeführten Strohhalmes je 2 Sedimentproben ( $V=1\text{ cm}^3$  im Sandwatt bzw.  $V=0,25\text{ cm}^3$  im Schlickwatt) pro Probestelle entnommen. Die Entnahme erfolgte an einem Ort in sandigem sowie in schlickigem Watt und je in Tiefen von 0 mm, 50 mm und 100 mm unter der Sedimentoberfläche. Sofern deutlich sichtbar ausgeprägt, wurde die Tiefe des Redoxhorizonts notiert. Tabelle 1 listet die Sammelorte, entnommene Mengen sowie die Tiefe der Redoxgrenze auf. Im Sandwatt wurden für Probe A-1 die oberen fünf Millimeter des Sediments abgenommen, im Falle des Schlickwatts nur etwa die obersten zwei Millimeter, um trotz der bis fast an die Sedimentoberfläche reichenden Reduktionsschicht eine vollständig oxische Probe zu erhalten.

Die Proben wurden in ein Becherglas ( $V=1\text{ L}$ ) gegeben und mit Meerwasser aus dem Transportröhrchen herausgespült. Je Sedimentprobe wurde etwa zwei Zentimeter hoch Meerwasser dazu gegeben und das Becherglas stark im Kreis geschwenkt, um festklebende Organismen vom Substrat zu lösen. Der Überstand wurde anschließend dekantiert. Dieser Vorgang wurde achtmal wiederholt, zwei weitere Male wurde zum Spülen Süß- statt Meerwasser verwendet (Methode nach Emschermann et al. 1992). Das Dekantat wurde jeweils durch ein Sieb der Porengröße  $d = 500\text{ }\mu\text{m}$  gefiltert, um grobe Sandpartikel zu entfernen, sowie durch ein weiteres Sieb der Porengröße  $d = 50\text{ }\mu\text{m}$ , hauptsächlich um die Organismen zu konzentrieren. Alles unter  $50\text{ }\mu\text{m}$  wurde verworfen, die Fraktion über  $500\text{ }\mu\text{m}$  wurde im Vorfeld stichprobenartig auf ihre Nanoflora untersucht, jedoch wurden nur vereinzelte Diatomeen gesichtet, sodass auch diese Fraktion

verworfen wurde. Die Fraktion wurde letztlich mit einer meerwassergefüllten Spritzflasche aus dem zweiten Sieb in ein Sammelgefäß überführt, aus dem die Proben für die Mikroskopie entnommen wurden.

Für die Auswertung der Diatomeenflora wurde die Fraktion tropfenweise auf einen Objektträger pipettiert, die Tropfen wurden im Durchlichtmikroskop Leica DM1000 abgerastert und die Individuen gezählt. Anschließend wurde der Tropfen verworfen. Auf diese Weise wurde die ganze Sedimentprobe untersucht. Diatomeen der folgenden Arten wurden gezählt:

*Odontella sinensis* (Greville) Grunow, 1884,  
*Biddulphia rhombus* (Ehrenberg) W. Smith, 1854,  
*Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg, 1840,  
*Actinopterychus senarius* (Ehrenberg) Ehrenberg, 1843,  
*Actinopterychus splendens* (Shadbolt) Ralfs, 1861.

Die Auswertung der Foraminiferenfauna erfolgte entsprechend. Individuen mit spiralförmig gewundenen Gehäuseformen wurden an einem Leica DM6000B mithilfe der Kamera Leica DFC420C und dem Programm Leica Application Suite Version 2.8.1 bei 100- bzw. bei kleinen Arten 200facher Vergrößerung fotografiert und der Durchmesser des Gehäuses (Abb. 6A) über einen zuvor ermittelten Umrechnungsfaktor zwischen Pixeln und  $\mu\text{m}$  aus den Fotos ermittelt. Die Bestimmung der Arten erfolgte nach Gabel (1971) und Hayward et al. (2017).

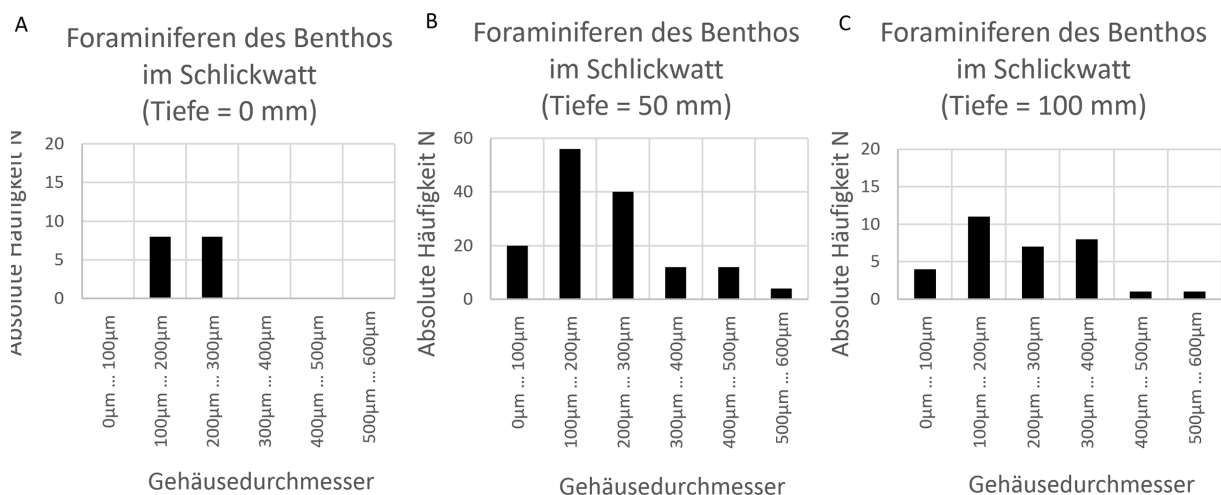


Abb.3. A – C Häufigkeit verschiedener Größenklassen von Foraminiferen-Gehäusen in den verschiedenen Tiefen im Schlickwatt: (A) Oberfläche, 0 mm. (B) 50 mm unter der Oberfläche. (C) 100 mm unter der Oberfläche.

## Ergebnisse

Lebende Individuen der fünf verschiedenen Arten (Beispielfotos siehe Abb. 5) von Diatomeen wurden im Benthos des Wattenmeeres in Sedimentproben gezählt. Die Unterscheidung lebender Kieselalgen und leerer Schalen erfolgte nach dem Auftreten von Chloroplasten. Fehlten diese, wurde ein Individuum nicht gezählt. Es zeigte sich sowohl beim Sand-, als auch beim Schlickwatt eine deutliche Abnahme der Individuenzahl je Probe in den tieferen Schichten des Sediments (Abb. 1). *A. splendens* war in den untersuchten Proben die häufigste Art, die vier übrigen Arten waren vergleichsweise gering repräsentiert. Die Dichten aller fünf untersuchten Arten nehmen mit zunehmender Tiefe im Sediment ab. Zudem ist zu erkennen, dass im Schlick geringfügig höhere Dichten ermittelt wurden. Zur Auswertung der Foraminiferenfauna wurde aufgrund technischer Einschränkungen keine Unterscheidung lebender und toter Gehäuse getätigt. Als eindeutig lebendig hat sich lediglich ein Individuum aus der oberflächenschicht des Schlickwatts erwiesen, das an der Plasmaströmung in den ausgestreckten Pseudopodien eindeutig als lebendig zu identifizieren war (Abb. 6B). Die Dichte der Foraminiferen im Sandwatt nimmt mit zunehmender Tiefe leicht ab, ist jedoch generell relativ gering. In 100 mm Tiefe gehören 14

von 16 gefundenen Gehäusen der Gattung *Trochammonia* an (Abb. 6D), während in flacheren Sedimentschichten Gehäuse der Familien Elphidiidae (z.B. *Cribronion* sp.) und Haynesinidae (z.B. *Haynesina depressula*, Abb. 6C) bis über 90 % der gesamten Foraminiferenfauna ausmachen. In tieferen Schichten des Sandwatts wurden vermehrt kleinere Gehäuse gefunden, während die Anzahl großer Gehäuse mit zunehmender Tiefe sinkt (Abb. 2). Vertreter der Elphidiidae und ähnliche Arten erreichen durchschnittlich über 300  $\mu\text{m}$  im Durchmesser, während *Trochammina*-Gehäuse Durchmesser von durchschnittlich etwa 100  $\mu\text{m}$  besitzen, die Größenverteilung spiegelt demnach auch die veränderte Artenverteilung wieder.

Im Schlickwatt zeigt sich ein gänzlich anderes Bild. An der Oberfläche des Sediments sind kaum Gehäuse zu finden (Abb. 4), hingegen im etwas tieferen Schlick finden sich sehr hohe Dichten von Gehäusen, darunter oft auch juvenile Gehäuse mit wenigen Kammern. Die Verteilung der Gehäusegrößen ist verhältnismäßig ausgewogen, außer in der individuenarmen Oberflächenprobe B-1 sind Gehäuse aller Größenklassen vertreten, zudem ist mit zunehmender Tiefe kein eindeutiger Gradient zu beobachten (Abb. 3). Zusätzlich ist im Schlickwatt in einer Tiefe von 100 mm oftmals eine dunkle bis vollständig schwarze oder schwarz-glänzende Färbung der Gehäuse zu vermerken, sodass das Erkennen der Gehäuse unter Umständen schwerfällt.

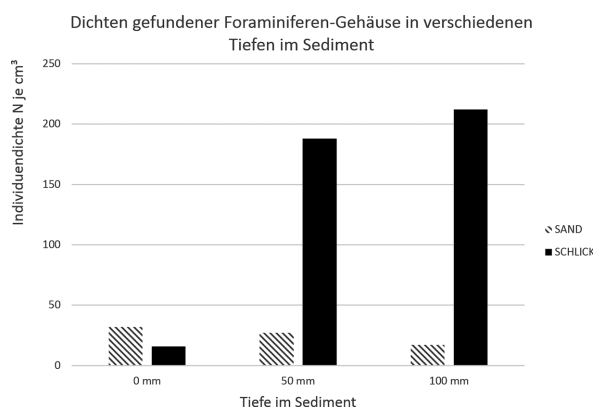


Abb.4. Auftragung der gezählten Gehäuse von Foraminiferen in einem Kubikzentimeter bzw. im Fall vom Schlick hochgerechnet auf einen Kubikzentimeter auf Basis der Anzahl in 0,25 cm³ Sediment.



## Diskussion

Entgegen der anfänglichen Vermutung, dass Kieselalgen nur in den lichtreichen oberen Schichten des Sediments vorkämen, sind auch noch in 100 mm Tiefe in Sand und Schlick intakte Diatomeen mit sichtbaren Chloroplasten zu finden, obwohl durch den Mangel an Lichtenergie die Produktivität der Zellen enorm gesenkt wird. Offenbar sind die Kieselalgen des marinen Benthos in der Lage, auch in völliger Dunkelheit in den Tiefen des Sediments zu überleben. Lewin (1953) beschreibt etwa die Fähigkeit mancher Kieselalgen, sich von gelöster Glucose heterotroph zu ernähren.

Die leicht unterschiedlichen Individuendichten zwischen Sand- und Schlickwatt ließen sich, trotzdem die Zahlen aufgrund des geringen Probenumfangs nicht repräsentativ sind, durch den höheren Wassergehalt des Schlicks erklären, da gerade die oberste Schicht im Sandwatt während des Niedrigwassers der Gefahr des Austrocknens ausgesetzt ist. Aufgrund der geringen Stichprobenanzahl lässt sich davon ausgehen, dass die auf einen cm<sup>3</sup> hochgerechneten Werte für das Schlickwatt stärker fehlerbehaftet und nicht ausreichend repräsentativ sind, um tatsächlich höhere Populationsdichten zu postulieren, jedoch ist die beobachtete höhere Diversität der Nanoflora im Schlick eventuell dadurch zu erklären.

Die Dominanz von *A. splendens* gegenüber den übrigen Arten, auch der nahe verwandten Art *A. senarius* deckt sich mit den Aussagen von Hoppenrath et al. (2009), wonach *A. splendens* im Meer um Sylt besonders während der Monate Februar, März und Oktober häufig ist. Die Arten *C. radiatus*, *O. sinensis* und *B. rhombus*, die allesamt in den Proben geringe Individuendichten aufwiesen, gehören der planktonischen Nanoflora an. Bei den im Benthos gefundenen Individuen handelt es sich demnach um abgesunkene planktonische Kieselalgen, wodurch sich deren geringere Abundanz erklären ließe. Die Populationen der benthischen *A. senarius* unterliegen einer saisonalen Schwankung, sodass im November die größten Dichten erreicht werden, den Rest des Jahres ist *A. senarius* nicht dominant vertreten (Gätje & Reise 1998).

Die Verteilung der Foraminiferen lässt zunächst keine allgemeinen Schlussfolgerungen

zu, da zwischen lebenden Individuen und den Gehäusen abgestorbener Foraminiferen ohne Färbung nur ausnahmsweise unterschieden werden kann. Eine denkbare Wanderung zwischen den Schichten während der Ontogenese, um etwa während der Juvenilstadien vor Austrocknung oder Prädation geschützt zu sein, lässt sich anhand der vorliegenden Daten zunächst nicht untermauern, da zumindest im Sandwatt die kleinen Schalen in den tieferen Schichten eindeutig zu anderen Arten gehören als die deutlich größeren Arten des flacheren Sediments. Unter Zuhilfenahme von Plasmafarbstoffen wie Bengalrosa ließe sich die Auswertung auf lebendige Zellen beschränken und die Aussage von einer reinitaphonomischen auf eine ökologische ausweiten, sodass zwischen Arten der Epifauna und Infauna differenziert werden kann. Aufgrund dieser grundsätzlichen Mängel lässt sich folglich nicht beschließen, wie hoch die Zahl lebender Foraminiferen im Sediment tatsächlich ist, die Ergebnisse sind ein unbestimmbares Integral über die Zeit. Dennoch kann anhand der großen Mehrheit gefundener Gehäuse von Vertretern der Elphidiidae und Haynesinidae davon ausgegangen werden, dass solche Arten im Gebiet dominant sind.

Trotz der Ungenauigkeit durch die zeitliche Integration und den geringen Stichprobenumfang wird deutlich, dass die Verteilung im nur wenige Dutzend Meter entfernten Schlickwatt ein anderes Bild zeichnet. Womöglich herrschen hier durch den hohen Gehalt an organischer Substanz für diese Einzeller bessere Lebensbedingungen als im Sandwatt. Durch den Eintrag fremden organischen Materials aus dem Plankton reichern sich Nährstoffe im Benthos an (Elliot et al. 1998). Nach Jorissen et al. (1992) ist der organische Gehalt des Sediments erst ab ausreichender Sauerstoffsättigung limitierend für vertikale Verteilungsmuster der Foraminiferenspezies. In tieferen Schichten des Schlickwatts ist der Sauerstoffgehalt drastisch erniedrigt. Die folglich zu erwartenden niedrigen Dichten der Mikrofauna stehen offenbar im Widerspruch mit der beobachteten hohen Anzahl an Gehäusen. Aufgrund der allgemein defizitären Datenlage muss an dieser Stelle jedoch Abstand davon genommen werden, eine Erklärung für diese Diskrepanz zu suchen.

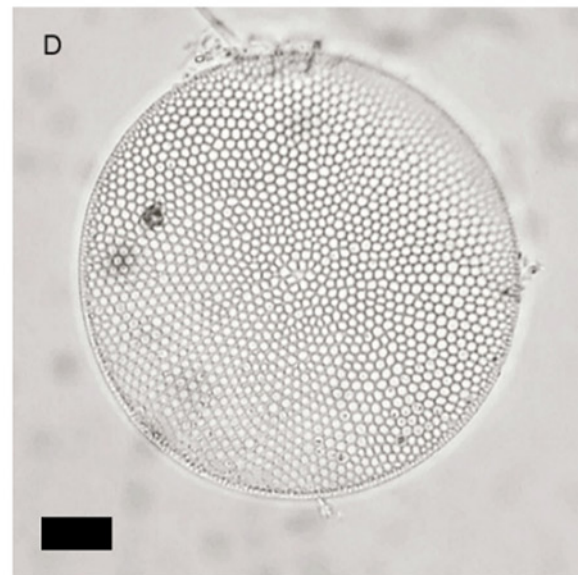
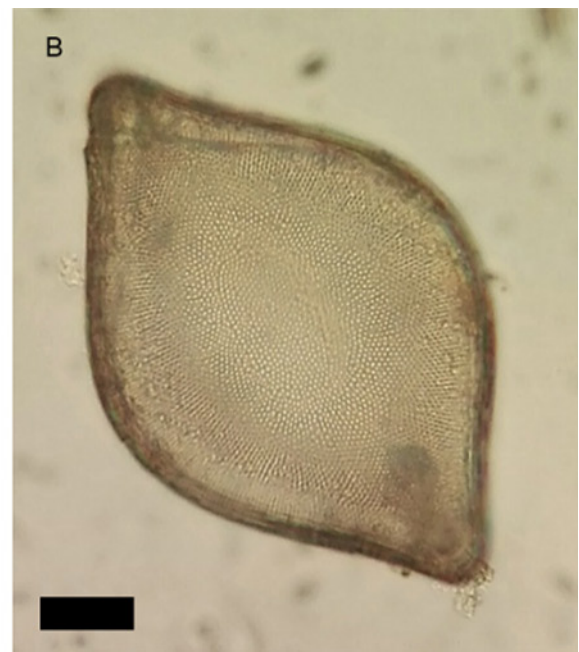


Abb.5. Diatomeen. Alle Maßstabsbalken  $L = 20 \mu\text{m}$ .  
A *Odontella sinensis* (Greville) Grunow 1884. B *Biddulphia rhombus* (Ehrenberg) W. Smith 1854. C *Actinoptychus senarius* (Ehrenberg) Ehrenberg 1843. D *Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg 1840. E *Actinoptychus splendens* (Shadbolt) Ralfs.

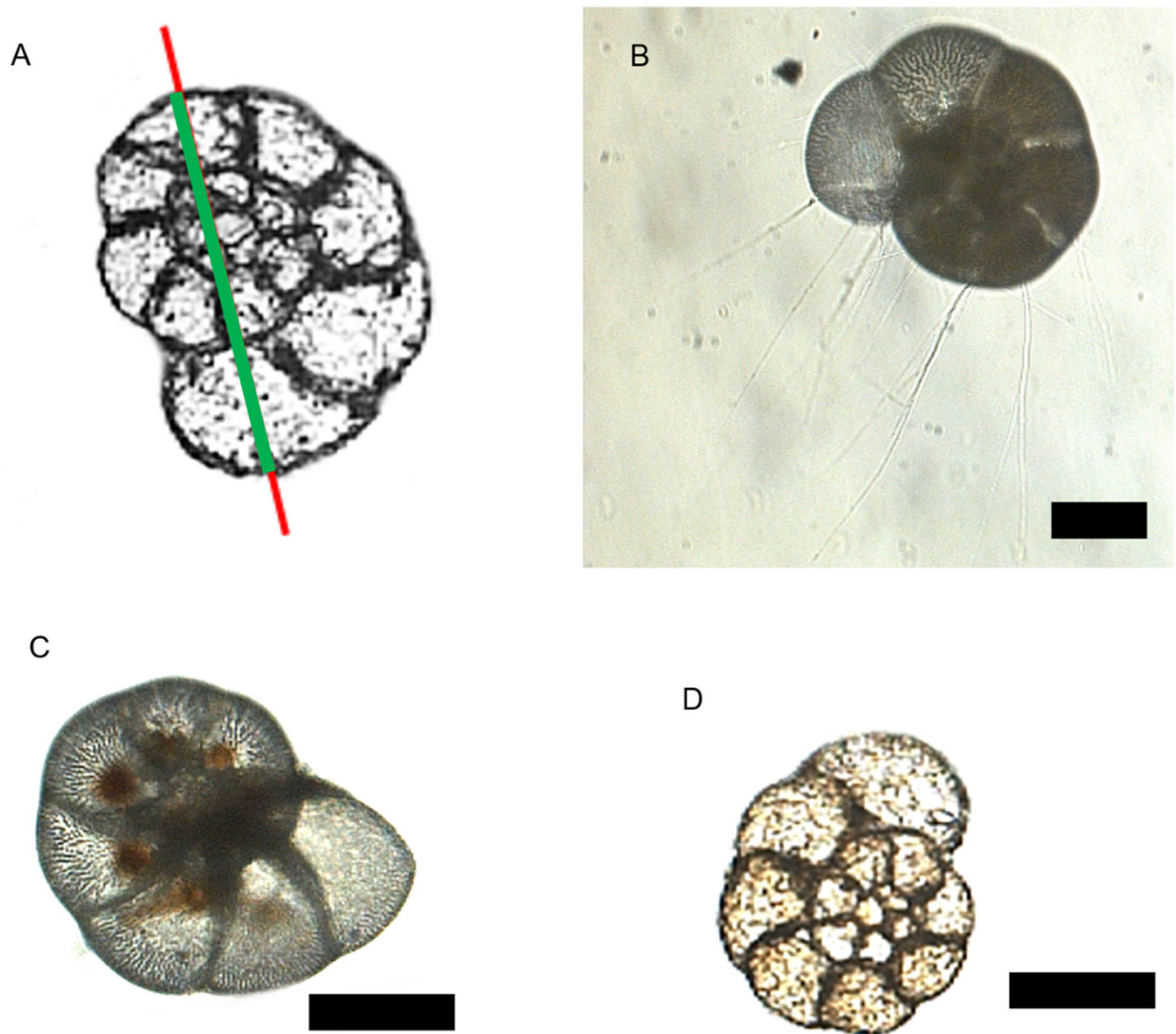


Abb.6. Foraminiferen. A Schema der Längenmessung. Grün: ermittelter Durchmesser. Gemessen wurde vom Berührungspunkt der lateralen Tangente an der jüngsten Kammer vorbei an der näher an der jüngsten Kammer gelegenen („anterioren“) Seite des Umbilicus des Gehäuses. B Lebendes Individuum einer Haynesinidae mit ausgestreckten Pseudopodien. Maßstabsbalken 100  $\mu\text{m}$ . C *Haynesina depressula*, einer der häufigsten Arten in den untersuchten Proben. Maßstabsbalken 100  $\mu\text{m}$ . D Gehäuse von *Trochammina* sp. Maßstabsbalken 50  $\mu\text{m}$ . In der tieferen Schicht des Sandwatts finden sich fast ausschließlich Gehäuse dieser winzigen Gattung.



## Literatur

- Alve, E.; Bernhard, J.M. (1995). **Vertical migratory response of benthic foraminifera to controlled oxygen concentrations in an experimental mecosm.** Marine Ecology Progress Series 116, 137-151
- Elliot, M.; Nedwell, S.; Jones, N.V.; Read, S.J.; Cutts, N.D.; Hemingway, K.L. (1998). **Intertidal sand and mudflats and subtidal mobile sandbanks.** <http://www.ukmarinesac.org.uk/pdfs/sandmud.pdf>, aufgerufen am 11.10.2017 um 17:45.
- Emschermann, P.; Hoffrichter, O.; Körner, H.; Zissler, D. (1992). **Meeresbiologische Exkursion.** Gustav Fischer Verlag; Stuttgart/Jena/New York
- Gabel, B. (1971). **Die Foraminiferen der Nordsee.** Helgoländer wissenschaftliche Meeresuntersuchungen 22, 1-65
- Gätje, C.; Reise, K. (1998). **Ökosystem Wattenmeer: Austausch-, Transport- und Stoffumwandlungsprozesse.** Springer-Verlag; Berlin/Heidelberg/New York
- Hayward, B.W.; Le Coze, F.; Gross, O. (2017). **World Foraminifera Database.** <http://www.marine-species.org/foraminifera>, aufgerufen am 9.10.2017 um 18:30.
- Hoppenrath, M.; Elbrächter, M.; Drebes, G. (2009). **Marine Phytoplankton.** E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart
- Jorissen, F.J.; Barmawidjaja, D.M.; Puskarix, S.; van der Zwaan, G.J. (1992). **Vertical distribution of benthic foraminifera in the northern Adriatic Sea: The relation with the organic flux.** Marine Micropaleontology 19(1-2), 131-146
- Lewin, J.C. (1953). **Heterotrophy in Diatoms.** Journal of General Microbiology 9, 305-313
- McCorkle, D.C.; Corliss, B.H.; Farnham, C.A. (1997). **Vertical distributions and stable isotopic compositions of live (stained) benthic foraminifera from the North Carolina and California continental margins.** Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers 44(6), 983-1024